

CLIPPEDIMAGE= JP406217478A
PAT-NO: JP406217478A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06217478 A
TITLE: PERMANENT MAGNET TYPE MOTOR

PUBN-DATE: August 5, 1994

INVENTOR-INFORMATION:

NAME
NITTA, ISAMU
TANIMOTO, SHIGEYA

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOSHIBA CORP	N/A

APPL-NO: JP05006493
APPL-DATE: January 19, 1993

INT-CL (IPC): H02K001/27
US-CL-CURRENT: 310/218

ABSTRACT:

PURPOSE: To suppress cogging torque by arching the inner face of a permanent magnet, setting the ratio of thickness in the radial direction between the pole border part and the pole center part of the permanent magnet within a specific range, and curving the outer face of the permanent magnet specifically.

CONSTITUTION: Inner face of a permanent magnet is arched with the rotational axis of rotor as a center and the radial thickness at the pole border part of the permanent magnet is set in the range of 0.3-0.7 times that at the pole center part. Furthermore, outer face of the permanent magnet is curved according to the formulas (I), (II). In the formulas, θ represents a mechanical angular position ($\theta=0$ (rad) at the pole center of each permanent magnet), r_c represents the distance (mm) from the center of rotation to the central part of the outer face of permanent magnet, r_b represents the

distance (mm) from the center of rotation to the pole border part on the outer face of permanent magnet, and P represents the number of poles of permanent magnet.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-217478

(43)公開日 平成6年(1994)8月5日

(51)Int.Cl.⁵

H02K 1/27

識別記号

501 A 7103-5H

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全14頁)

(21)出願番号 特願平5-6493

(22)出願日 平成5年(1993)1月19日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 新田 勇

名古屋市西区葭原町4丁目21番地 株式会
社東芝名古屋工場内

(72)発明者 谷本 茂也

名古屋市西区葭原町4丁目21番地 株式会
社東芝名古屋工場内

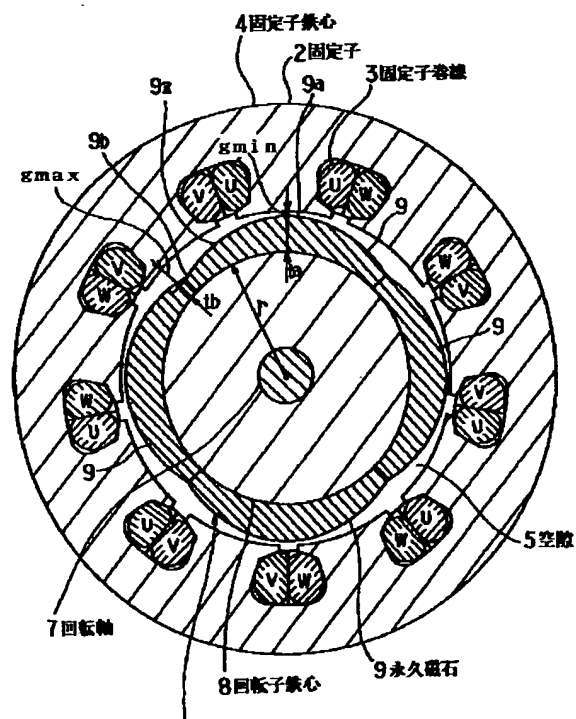
(74)代理人 弁理士 佐藤 強 (外1名)

(54)【発明の名称】 永久磁石形モータ

(57)【要約】

【目的】 本発明の永久磁石形モータは、コギングトルクを抑え得るようにしている。

【構成】 永久磁石9の内面を円弧面に形成し、且つこの永久磁石9の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つこの永久磁石9の外周9zの形状を、非円弧面となるように形成している。



1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 略リング状に等配した複数の永久磁石を界磁手段とする回転子を有するものにおいて、前記永久磁石の内面を円弧面に形成し、且つこの永久磁石の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの *

* 0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つこの永久磁石の外面の形状を、下記(1)式および(2)式の $r(\theta)$ であらわされる曲面形状に形成したことを特徴とする永久磁石形モータ。

【数1】

$$\left. \begin{aligned} r(\theta) &= rc \pm \{H(\theta) - rc\} \text{----- (1)} \\ H(\theta) &= \{(\cos^2 \phi + 4 \cdot a \cdot rc \cdot \sin^2 \phi)^{1/2} - \cos \phi\} \\ &\quad / (2 \cdot a \cdot \sin^2 \phi) \end{aligned} \right\}$$

ただし、 $\phi = P \cdot |\theta| / 4$

$$a = (2^{1/2} \cdot d - 2 \cdot rc) / d^2$$

$$d = rc - |rc - rb|$$

 $\theta = 0$ のとき

$$r(\theta) = rc \text{----- (2)}$$

θ は機械角角度位置(各永久磁石の磁極中央で $\theta = 0$ [rad])

rc は永久磁石の外面中央部に対する回転中心からの距離 [mm]

rb は永久磁石の外面磁極境界部に対する回転中心からの距離 [mm]

P は永久磁石の全磁極数

【請求項2】 略リング状に等配した複数の永久磁石を※

※界磁手段とする回転子を有するものにおいて、前記永久磁石の内面を円弧面に形成し、且つこの永久磁石の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つこの永久磁石の外面の形状を、下記(3)式の $r(\theta)$ であらわされる曲面形状に形成したことを特徴とする永久磁石形モータ。

【数2】

$$r(\theta) = rc \pm gmin \cdot \{1 - 1 / (1 + Z \cdot |\theta|)\} \text{----- (3)}$$

ただし、 $Z = P \cdot \{gmin / (rc - rb + gmin) - 1\} / \pi$

θ は機械角角度位置(各永久磁石の磁極中央で $\theta = 0$ [rad])

rc は永久磁石の外面中央部に対する回転中心からの距離 [mm]

rb は永久磁石の外面磁極境界部に対する回転中心からの距離 [mm]

$gmin$ は最小空隙長 [mm]

P は永久磁石の全磁極数

【請求項3】 略リング状に等配した複数の $4n$ (n は★

30★自然数)極の永久磁石を界磁手段とする回転子と、 $9n$ 個のスロットの固定子鉄心を有する固定子とを備えたものにおいて、前記永久磁石の内面を円弧面に形成し、且つこの永久磁石の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つこの永久磁石の外面と固定子内面との間の1極分の空隙長を下記(4)式で表される $g(\theta)$ となるように形成したことを特徴とする永久磁石形モータ。

【数3】

$$g(\theta) = gmin \cdot \{2 - 1 / \cos(\theta / \alpha)\} \text{----- (4)}$$

ただし、

$$\alpha = n \cdot \pi / \{4 \cdot \cos^{-1}(gmin / gmax)\}$$

θ は機械角角度位置(各永久磁石の磁極中央で $\theta = 0$ [rad])

$gmax$ は最大空隙長 [mm]

$gmin$ は最小空隙長 [mm]

n は永久磁石の全磁極数/4

☆【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、コギングトルク対策を講じた永久磁石形モータに関する。

【0002】

【従来の技術】鉄心付き永久磁石形モータに発生するコ

パラメーターと永久磁石の起磁力のパラメーターとによって支配される。起磁力の分布は、永久磁石と鉄心との間に発生する空隙磁束密度分布に比例する。よって、この磁束密度分布によりコギングトルクが支配されるともいえる。この磁束密度分布は周期的なため、磁極ピッチの2倍の機械角を基本周期とする周波数成分の合成としてとらえることができる。

【0003】まず、第1の従来例について述べる。従来、永久磁石形モータには、永久磁石を界磁手段とする回転子と、固定子鉄心を有する固定子とを備え、永久磁石の径方向の厚さ寸法を一定としたものがある。この種モータでは、永久磁石における磁束密度は、図11の曲線J1aで示すように、方形波に近い波形となる。これを周波数成分に分解すると、図12の棒グラフJ1bで示すように基本波に対し、その次数で除した量に近い量の高調波を含んでいる。このように磁束密度に高調波成分が含まれることによりコギングトルクが発生する。

【0004】このコギングトルクを抑制できるように対策したモータを、第2の従来例として述べる。このモータでは図13に示すように永久磁石51の径方向の厚み寸法が異なるようにしたものがある。このものではその永久磁石51の磁極中央部の厚み寸法に対して磁極境界部の厚み寸法を小さくしており、具体的には、永久磁石51の外表面を、内面の曲率より小さい円弧形に形成している。このものでは、磁束密度分布を、図11の曲線J2aで示すように正弦波に近付けることにより、図12の棒グラフJ2bに示すように基本波成分以外の高調波成分を全体的に減少させて、コギングトルクの軽減を図*

$\theta \neq 0$ のとき

$$r(\theta) = rc \pm \{H(\theta) - rc\} \text{ ----- (5)}$$

$$H(\theta) = \{ (\cos^2 \phi + 4 \cdot a \cdot rc \cdot \sin^2 \phi)^{1/2} - \cos \phi \} / (2 \cdot a \cdot \sin^2 \phi)$$

ただし、 $\phi = P \cdot |\theta| / 4$

$$a = (2^{1/2} \cdot d - 2 \cdot rc) / d^2$$

$$d = rc - |rc - rb|$$

$\theta = 0$ のとき

$$r(\theta) = rc \text{ ----- (6)}$$

θ は機械角角度位置(各永久磁石の磁極中央で $\theta = 0$ [rad])

rcは永久磁石の外表面中央部に対する回転中心からの距離 [mm]

rbは永久磁石の外表面磁極境界部に対する回転中心からの距離 [mm]

Pは永久磁石の全磁極数

【0010】第2の目的を達成するために、請求項2の

*るようにしている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した第2の上記従来構成では、永久磁石51の径方向の厚さ寸法を決定する外面の曲率が一定値であるため、磁束密度分布を正弦波に近付けるには限界があり、一層のコギングトルク改善が要望されている。

【0006】また、コギングトルク改善に合わせて、モータ出力低下も抑制できれば、なお好ましく、このようなニーズも高まっている。

【0007】本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、第1の目的は、コギングトルクを抑え得る永久磁石形モータを提供するにあり、第2の目的は、コギングトルクを抑え得ると共に、モータ出力の減少を最小限に抑えることができる永久磁石形モータを提供するにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】第1の目的を達成するために、請求項1の発明は、略リング状に等配した複数の永久磁石を界磁手段とする回転子を有するものにおいて、前記永久磁石の内表面を円弧面に形成し、且つこの永久磁石の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つこの永久磁石の外表面の形状を、下記(5)式および(6)式の $r(\theta)$ であらわされる曲面形状に形成したところに特徴を有する。

【0009】

【数4】

※段とする回転子を有するものにおいて、前記永久磁石の内表面を円弧面に形成し、且つこの永久磁石の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つこの永久磁石の外表面の形状を、下記(7)式の $r(\theta)$ であらわされる曲面形状に形成したところに特徴を有する。

【0011】

【数5】

$$r(\theta) = r_c \pm g_{\min} \cdot \{1 - 1/(1 + Z \cdot |\theta|)\} \quad \text{----- (7)}$$

$$\text{ただし、} Z = P \cdot \{g_{\min} / (r_c - r_b + g_{\min}) - 1\} / \pi$$

θ は機械角位置(各永久磁石の磁極中央で $\theta = 0$ [rad])

r_c は永久磁石の外周中央部に対する回転中心からの距離 [mm]

r_b は永久磁石の外周磁極境界部に対する回転中心からの距離 [mm]

g_{\min} は最小空隙長 [mm]

P は永久磁石の全磁極数

【0012】同じく第2の目的を達成するために、請求項3の発明は、略リング状に等配した複数の $4n$ (n は*

*自然数)極の永久磁石を界磁手段とする回転子と、 $9n$ 個のスロットの固定子鉄心を有する固定子とを備えたものにおいて、前記永久磁石の内面を円弧面に形成し、且つこの永久磁石の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つこの永久磁石の外周と固定子内面との1極分の空隙長を下記(8)式で表される $g(\theta)$ となるように形成したところに特徴を有する。

【0013】

【数6】

$$g(\theta) = g_{\min} \cdot \{2 - 1/\cos(\theta/\alpha)\} \quad \text{----- (8)}$$

ただし、

$$\alpha = n \cdot \pi / \{4 \cdot \cos^{-1}(g_{\min}/g_{\max})\}$$

θ は機械角位置(各永久磁石の磁極中央で $\theta = 0$ [rad])

g_{\max} は最大空隙長 [mm]

g_{\min} は最小空隙長 [mm]

n は永久磁石の全磁極数/4

【0014】

【作用】永久磁石形モータにおいて、コギングトルクを減少させる方法としては、2通りがある。まず、磁束密度分布のすべての高調波成分を減少させる方法がある。請求項1の発明はこれを考慮してなされている。この発明では、永久磁石の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つ永久磁石の外周形状を、前述の(5)式および(6)式の $r(\theta)$ であらわされる曲面形状に形成したことで、磁束密度分布のすべての高調波成分を減少し、コギングトルクが減少する。

【0015】コギングトルクを減少させる他の方法としては、高調波のうち3次、5次などの比較的低次の高調波をある程度残留させ、その他の高次の高調波を減少させる方法である。請求項2および3の発明はこれを考慮してなされている。この場合、固定子鉄心のスロット数が磁極数の2倍以上の場合に有効である。これは、コギングトルクが磁束密度の高調波の相互作用に発生するためである。つまり、低次の高調波と対となる高次の高調波を減少させ、相互作用を弱めてコギングトルクを低減させるものである。また永久磁石の磁極中央で磁束密度の基本波と位相が半周期異なる3次の高調波が残留することにより、基本波の減少を小さく抑え、モータ出力の減少を抑えることが可能となる。

*永久磁石の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つこの永久磁石の外周の形状を、前述の(7)式の $r(\theta)$ であらわされる曲面形状に形成したから、高調波のうち3次、5次などの比較的低次の高調波をある程度残留させ、その他の高次の高調波を減少させ、もってモータ出力を低減させることなくコギングトルクを抑制できる。

【0017】また、請求項3の発明では、永久磁石の磁極境界部の径方向厚さ寸法を磁極中央部の径方向厚さの0.3~0.7倍の範囲内に設定し、且つこの永久磁石の外周と固定子内面との1極分の空隙長を前述の(8)式で表される $g(\theta)$ となるように形成したことにより、高調波のうち3次、5次などの比較的低次の高調波をある程度残留させ、その他の高次の高調波を減少させ、もってモータ出力を低減させることなくコギングトルクを抑制できる。

【0018】

【実施例】以下、本発明の第1の実施例につき図1ないし図4を参照しながら説明する。まず、図2において全体構成を述べる。フレーム1の内側には、固定子鉄心2および巻線3を有する固定子4が設けられており、また、この固定子4と空隙5を介して回転子6が配設されている。この回転子6は、回転軸7と、この回転軸7に装着された回転子鉄心8と、この回転子鉄心8の外周面に略リング状に等配された状態で装着した界磁手段としての複数の永久磁石9とを有して構成されている。

【0019】この永久磁石9はフェライトにより構成されており、この場合4極あつて隣どうして逆極性となるように着磁されている。そして、図1に示すように、こ

7

8

る半径 r の円弧面に形成され、且つこの永久磁石9の磁極境界部9bの径方向厚さ寸法 t_b は、磁極中央部9aの径方向厚さ寸法 t_a の0.3~0.7倍の範囲内に設定され、且つこの永久磁石の外面9zの形状を、下記 *
 $\theta \neq 0$ のとき

$$r(\theta) = rc \pm \{H(\theta) - rc\} \text{ ----- (9)}$$

$$H(\theta) = \{ (\cos^2 \phi + 4 \cdot a \cdot rc \cdot \sin^2 \phi)^{1/2} - \cos \phi \} / (2 \cdot a \cdot \sin^2 \phi)$$

$$\text{ただし、} \phi = P \cdot |\theta| / 4$$

$$a = (2^{1/2} \cdot d - 2 \cdot rc) / d^2$$

$$d = rc - |rc - rb|$$

$\theta = 0$ のとき

$$r(\theta) = rc \text{ ----- (10)}$$

θ は機械角角度位置(各永久磁石の磁極中央で $\theta = 0$ [rad])

rc は永久磁石の外面中央部に対する回転中心からの距離 [mm]

rb は永久磁石の外面磁極境界部に対する回転中心からの距離 [mm]

P は永久磁石の全磁極数

【0021】しかして、今、上記磁極中央部9aの径方※

* (9)式および(10)式の $r(\theta)$ であらわされる曲面形状に形成している。

【0020】

【数7】

※向厚さ寸法 t_a を5mmとし、また、上記磁極境界部9bの径方向厚さ寸法 t_b を2.5mmとし、最小空隙長 g_{min} を0.7mmとし、最大空隙長 g_{max} を3.2mmとしている。このとき、 $r(\theta)$ の具体的値は表1に示すようになる。

【0022】

【表1】

θ [rad]	θ [deg]	$r(\theta)$ [mm]
0.000	0.000	23.300
0.017	1.000	23.297
0.035	2.000	23.288
0.052	3.000	23.273
0.070	4.000	23.252
0.087	5.000	23.226
0.105	6.000	23.194
0.122	7.000	23.156
0.140	8.000	23.114
0.157	9.000	23.067
0.175	10.000	23.015
0.192	11.000	22.960
0.209	12.000	22.900
0.227	13.000	22.837
0.244	14.000	22.771
0.262	15.000	22.702
0.279	16.000	22.631
0.297	17.000	22.558
0.314	18.000	22.483
0.332	19.000	22.407
0.349	20.000	22.330
0.367	21.000	22.252
0.384	22.000	22.174
0.401	23.000	22.096
0.419	24.000	22.018
0.436	25.000	21.941
0.454	26.000	21.864
0.471	27.000	21.788
0.489	28.000	21.714
0.506	29.000	21.641
0.524	30.000	21.570
0.541	31.000	21.500
0.559	32.000	21.433
0.576	33.000	21.368
0.593	34.000	21.305
0.611	35.000	21.244
0.628	36.000	21.187
0.646	37.000	21.131
0.663	38.000	21.079
0.681	39.000	21.030
0.698	40.000	20.983
0.716	41.000	20.940
0.733	42.000	20.900
0.750	43.000	20.863
0.768	44.000	20.830
0.785	45.000	20.800

このように構成した本実施例の場合、図3に曲線H1a 40*例(J2c)に比して、低くなる。

で示すような磁束密度分布となり、第1の従来例(曲線J1a)と第2の従来例(曲線J2a)とのほぼ中間的な磁束密度分布となる。また、図4の棒グラフH1bから判るように、すべての高調波成分が減少する。これにて、図5のH1cから分かるように、本実施例のコギングトルクは、第1の従来例(J1c)および第2の従来*

【0023】次に、図6は本発明の第2の実施例を示し、この第2の実施例においては、1極分の永久磁石11の外周11zの形状を、下記(11)式の $r(\theta)$ であらわされる曲面形状に形成している。

【0024】

【数8】

$$r(\theta) = rc \pm gmin \cdot \{1 - 1/(1 + Z \cdot |\theta|)\} \quad \text{----- (11)}$$

ただし、 $Z = P \cdot \{gmin / (rc - rb + gmin) - 1\} / \pi$

11

12

r_c は永久磁石の外面中央部に対する回転中心からの距離 [mm]

r_b は永久磁石の外面磁極境界部に対する回転中心からの距離 [mm]

g_{min} は最小空隙長 [mm]

P は永久磁石の全磁極数

この場合、この $r(\theta)$ は表2に示すようになり、最大*

*距離 r_{max} は23.3mmとなり、最小距離 r_{min} は20.8mmとなる。従って、ギャップの差は2.5mmとなる。なお、この場合永久磁石11の外面11zの形状は放物線形状となる。

【0025】

【表2】

θ [rad]	θ [deg]	$r(\theta)$ [mm]
0.000	0.000	23.300
0.017	1.000	23.288
0.035	2.000	23.275
0.052	3.000	23.262
0.070	4.000	23.248
0.087	5.000	23.233
0.105	6.000	23.219
0.122	7.000	23.203
0.140	8.000	23.187
0.157	9.000	23.170
0.175	10.000	23.153
0.192	11.000	23.135
0.209	12.000	23.116
0.227	13.000	23.096
0.244	14.000	23.075
0.262	15.000	23.054
0.279	16.000	23.031
0.297	17.000	23.007
0.314	18.000	22.982
0.332	19.000	22.955
0.349	20.000	22.928
0.367	21.000	22.898
0.384	22.000	22.867
0.401	23.000	22.835
0.419	24.000	22.800
0.436	25.000	22.763
0.454	26.000	22.724
0.471	27.000	22.682
0.489	28.000	22.638
0.506	29.000	22.590
0.524	30.000	22.539
0.541	31.000	22.484
0.559	32.000	22.425
0.576	33.000	22.361
0.593	34.000	22.292
0.611	35.000	22.216
0.628	36.000	22.133
0.646	37.000	22.043
0.663	38.000	21.943
0.681	39.000	21.832
0.698	40.000	21.709
0.716	41.000	21.571
0.733	42.000	21.415
0.750	43.000	21.238
0.768	44.000	21.035
0.785	45.000	20.800

この第2の実施例によれば、図3に曲線H2aで示すような磁束密度分布となり、また、図4の棒グラフH2b

*低次の高調波がある程度残留し、その他の高次の高調波は減少している。これにより、相互作用を弱めてコギン

13

例のコギングトルクは図五のH2cで示すように、第1の従来例および図2の実施例の場合に比して、低くなっていることがわかる。また永久磁石11の磁極中央で磁束密度の基本波と位相が半周期異なる3次の高調波が残留することにより、基本波の減少を小さく抑え、モータ出力の減少を抑えることができる。

$$g(\theta) = g_{\min} \cdot \{2 - 1/\cos(\theta/\alpha)\} \quad \text{----- (12)}$$

ただし、

$$\alpha = n \cdot \pi / \{4 \cdot \cos^{-1}(g_{\min}/g_{\max})\}$$

θ は機械角角度位置（各永久磁石の磁極中央で $\theta=0$ [rad]）

g_{\max} は最大空隙長 [mm]

g_{\min} は最小空隙長 [mm]

n は永久磁石の全磁極数/4

【0028】しかして、今、上記磁極中央部21aの径方向厚さ寸法 t_a を5mmとし、また、上記磁極境界部※

14

*【0026】図7は、本発明の第3の実施例を示している。永久磁石21の外面21zと固定子内面4aとの間の1極分の空隙長を、下記(12)式で表される $g(\theta)$ となるように形成している。

【0027】

【数9】

※21bの径方向厚さ寸法 t_b を2.5mmとし、最小空隙長 g_{\min} を0.7mmとし、最大空隙長 g_{\max} を3.2mmとしている。このとき、空隙長 $g(\theta)$ の具体的値は表3に示すようになる。

【0029】

【表3】

θ [rad]	θ [deg]	$g(\theta)$ [mm]
0.000	0.000	0.700
0.017	1.000	0.700
0.035	2.000	0.701
0.052	3.000	0.703
0.070	4.000	0.705
0.087	5.000	0.708
0.105	6.000	0.711
0.122	7.000	0.716
0.140	8.000	0.721
0.157	9.000	0.726
0.175	10.000	0.733
0.192	11.000	0.740
0.209	12.000	0.748
0.227	13.000	0.757
0.244	14.000	0.767
0.262	15.000	0.777
0.279	16.000	0.789
0.297	17.000	0.802
0.314	18.000	0.816
0.332	19.000	0.832
0.349	20.000	0.848
0.367	21.000	0.866
0.384	22.000	0.886
0.401	23.000	0.908
0.419	24.000	0.931
0.436	25.000	0.957
0.454	26.000	0.985
0.471	27.000	1.015
0.489	28.000	1.049
0.506	29.000	1.086
0.524	30.000	1.126
0.541	31.000	1.171
0.559	32.000	1.221
0.576	33.000	1.276
0.593	34.000	1.338
0.611	35.000	1.407
0.628	36.000	1.486
0.646	37.000	1.575
0.663	38.000	1.677
0.681	39.000	1.795
0.698	40.000	1.933
0.716	41.000	2.096
0.733	42.000	2.291
0.750	43.000	2.528
0.768	44.000	2.823
0.785	45.000	3.200

このように構成した本実施例の場合、図8に曲線H3aで示すような磁束密度分布となり、第1の従来例（曲線Aa）と第2の従来例（曲線Ba）とのほぼ中間的な磁束密度分布となる。また、図9の棒グラフH3bから判るように、高調波のうち3次、5次などの比較的低次の高調波がある程度残留し、その他の高次の高調波は減少している。これにより、相互作用を弱めてコギングトルクを低減させることができる。すなわち、図10のH3cで分かるように、本実施例のコギングトルクは、第1の従来例および第2の実施例の場合に比して、低くなっ

40* 波と位相が半周期異なる3次の高調波が残留することにより、基本波の減少を小さく抑え、モータ出力の減少を抑えることができる。

【0030】

【発明の効果】請求項1の発明によれば、コギングトルクを抑えることができ、また請求項2および請求項3の発明によれば、コギングトルクを抑え得ると共に、モータ出力の減少を最小限に抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を示す全体の横断平面図

17

【図3】磁束密度分布を示す図

【図4】次数ごとの磁束密度を示す図

【図5】コギングトルクを示す図

【図6】本発明の第2の実施例を示す永久磁石部分の横断平面図

【図7】本発明の第3の実施例を示す永久磁石部分の横断平面図

【図8】磁束密度分布を示す図

【図9】次数ごとの磁束密度を示す図

【図10】コギングトルクを示す図

10

18

【図11】第1の従来例および第2の従来例を説明するための磁束密度分布を示す図

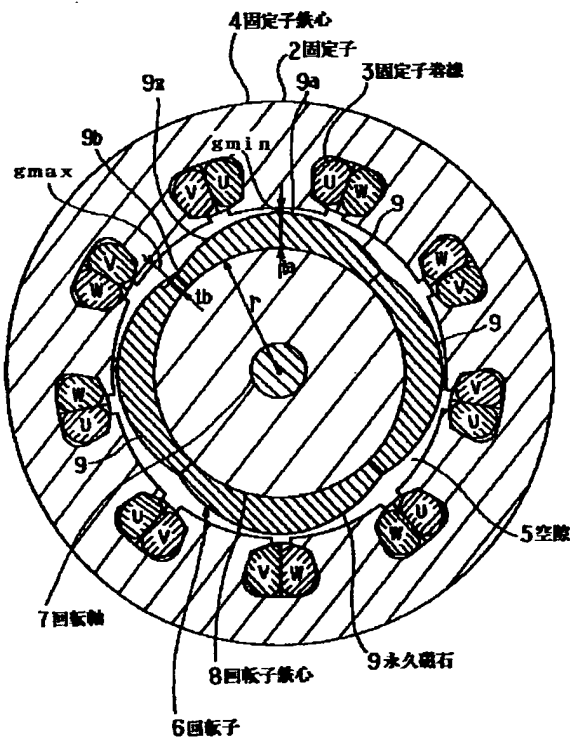
【図12】次数ごとの磁束密度を示す図

【図13】第2の従来例における永久磁石部分の横断平面図

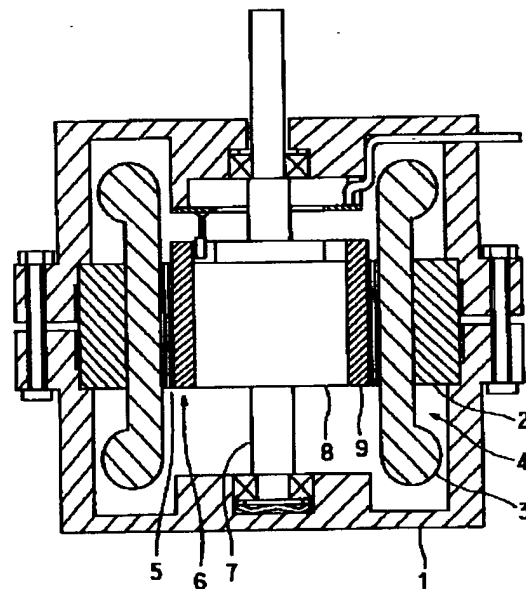
【符号の説明】

2は固定子鉄心、4は固定子、5は空隙、6は回転子、7は回転軸、8は回転子鉄心、9、11、21は永久磁石、9z、11z、21zは外面を示す。

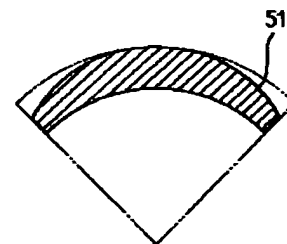
【図1】



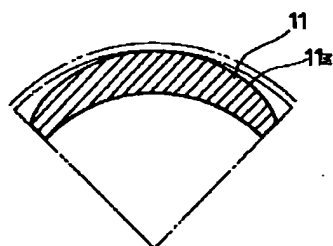
【図2】



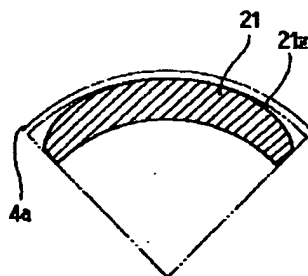
【図13】



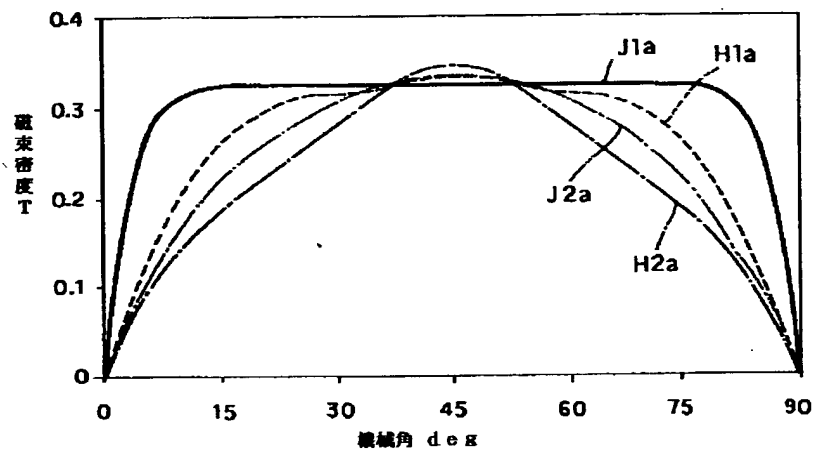
【図6】



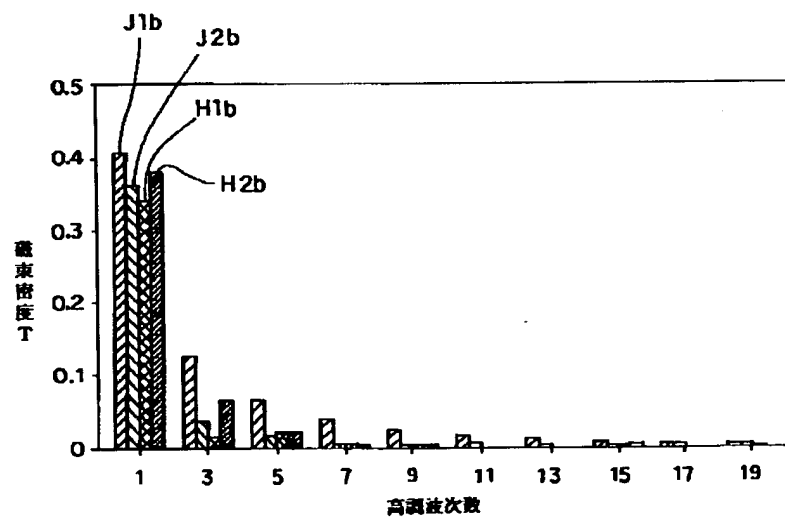
【図7】



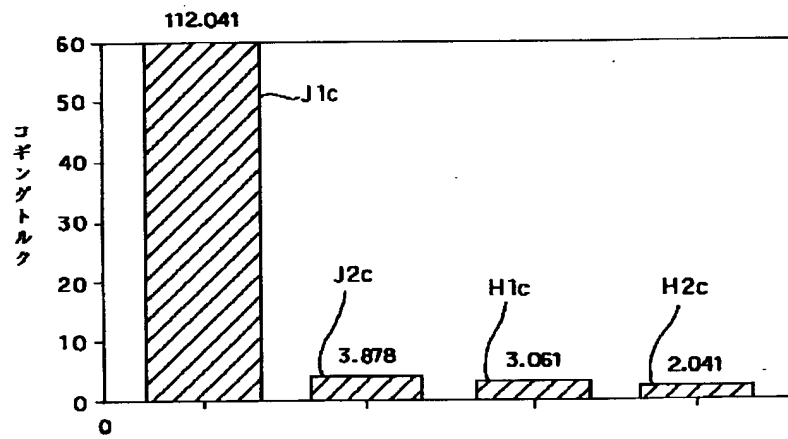
【図3】



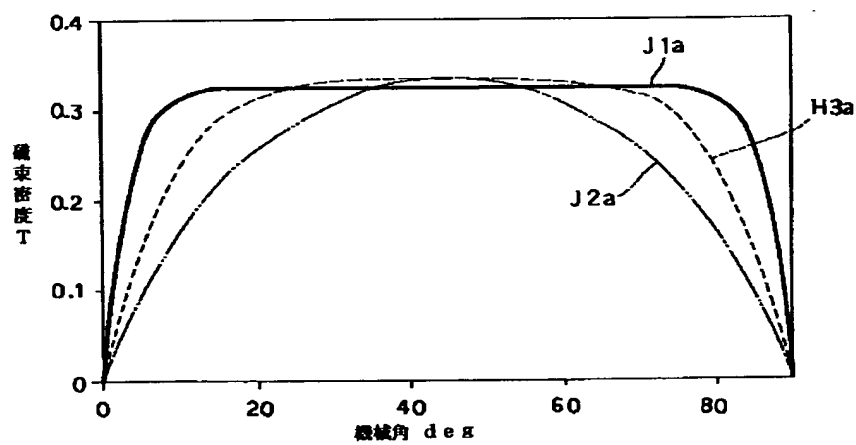
【図4】



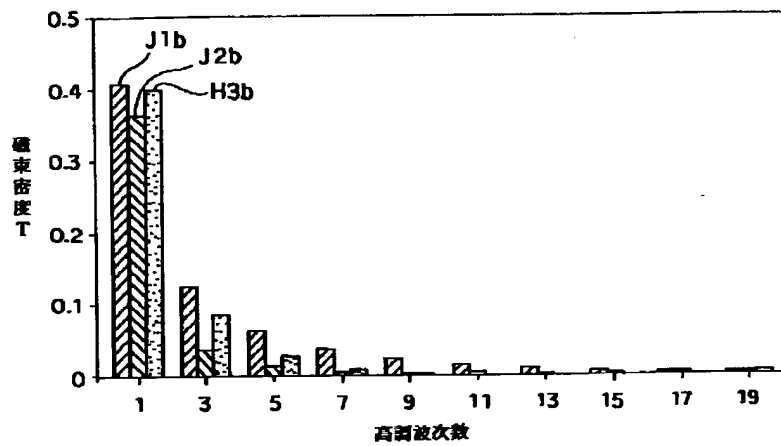
【図5】



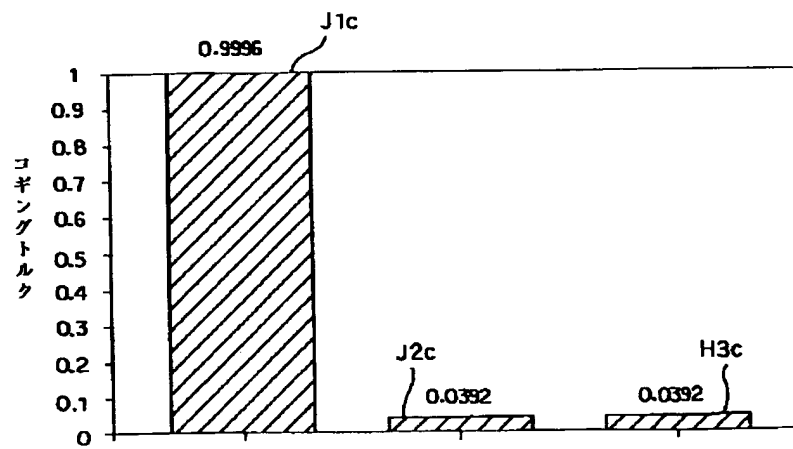
【図8】



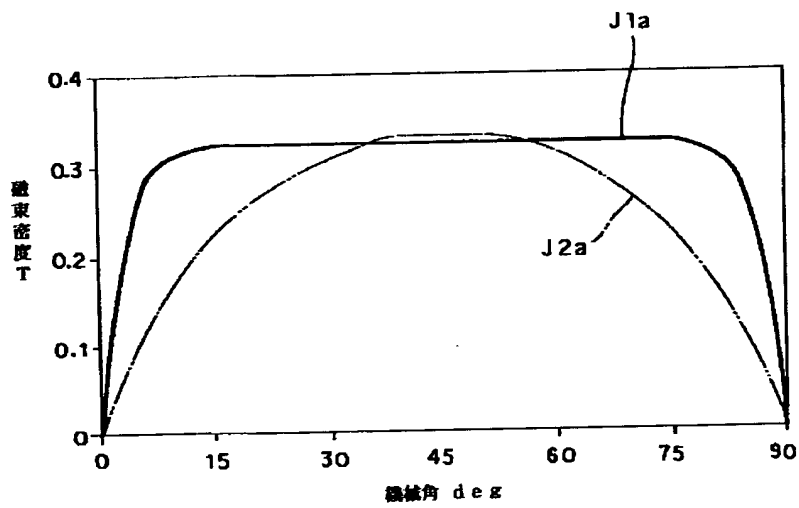
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

